



中年肥満男性における運動実践が内臓脂肪に及ぼす影響：食事改善との比較

著者	笹井 浩行, 片山 靖富, 沼尾 成晴, 中田 由夫, 田中 喜代次
雑誌名	体力科学 (Japanese journal of physical fitness and sports medicine)
巻号	57
ページ	1
発行年	89-99
権利	2008-02
その他のタイトル	日本体力医学会
URL	EFFECTS OF EXERCISE ON VISCERAL FAT IN OBESE MIDDLE-AGED MEN : COMPARISON TO DIETARY MODIFICATION
	http://hdl.handle.net/2241/99645

中年肥満男性における運動実践が内臓脂肪に及ぼす影響：食事改善との比較

笹井 浩行¹⁾ 片山 靖富¹⁾ 沼尾 成晴²⁾
中田 由夫³⁾ 田中 喜代次¹⁾

EFFECTS OF EXERCISE ON VISCERAL FAT IN OBESE MIDDLE-AGED MEN : COMPARISON TO DIETARY MODIFICATION

HIROYUKI SASAI, YASUTOMI KATAYAMA, SHIGEHARU NUMAO,
YOSHIO NAKATA and KIYOJI TANAKA

Abstract

It has been reported that visceral fat (VF) is an independent predictor of the incidence for coronary heart disease, and is associated with its risk factors. The independent effects of exercise or dietary modification on VF remain to be fully elucidated, especially in obese middle-aged men. The purpose of this study was to investigate effects of exercise on VF compared to dietary modification. Thirty-five obese middle-aged men participated in this study. They consisted of exercise group (n=22, 51.4±11.6 yr, Group E) and diet group (n=13, 48.8±12.2 yr, Group D). Participants in Group E followed 90-min exercise sessions on a regular basis 3 days per week for 12 weeks. Participants in Group D attended weekly classes aimed at maintaining well-balanced 1,680 kcal/d diet for 12 weeks. Body weight decreased significantly in both groups (Group E : -2.9 kg, Group D : -5.4 kg). Visceral fat area (VFA) determined by computed tomography also decreased significantly (Group E : -32.0 cm², Group D : -39.4 cm²). An analysis of covariance adjusted by weight change revealed no significant group difference in VFA change. These results suggest that exercise-induced negative energy balance does not result in greater decrease in VFA as compared with dietary modification alone.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2008, 57 : 89~100)

key word : visceral fat, exercise, dietary modification

I . 緒 言

本邦では、日本肥満学会が定める肥満の判定基準¹⁾である body mass index (BMI) 25以上の者が、男性を中心に年々増加しており、2003年の統計²⁾では30歳台から60歳台にかけてすべての年台で約30%が肥満に該当している。肥満が問題となる理由は、高血圧³⁾や脂質代謝異常⁴⁾、糖尿病⁵⁾などの慢性疾患を惹起しやすく、心血管病の罹患⁶⁾や心血管病による死亡リスク⁷⁾を有意に高めることが明らかとされているからである。また、これらの相乗作用として、総死亡のリスクが高まることも報告されて

いる⁸⁾。

肥満と慢性疾患が関連する背景には、体脂肪の過剰蓄積だけでなく、体脂肪の蓄積部位 (体脂肪分布) が深く関与しているとの指摘がある^{9,10)}。特に、腹腔内の腸間膜や大網に蓄積した脂肪組織、すなわち内臓脂肪 (visceral fat : VF) が、慢性疾患の発症に大きく寄与することが示唆されている^{11~13)}。さらには、VFの蓄積が男性における総死亡の独立した予測因子であることが、最近の研究で報告されている¹⁴⁾。VFと慢性疾患が関連する機序として、1) VFは皮下脂肪 (subcutaneous fat : SF) に比べて脂肪組織由来の生理活性物質やホルモンなどの分泌

¹⁾ 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 早稲田大学スポーツ科学学術院
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15

³⁾ 筑波大学先端学際領域研究センター
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of
Tsukuba 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

Faculty of Sport Sciences, Waseda University 2-579-15 Mitsugashima,
Tokorozawa, Saitama 359-1192

Center for Tsukuba Advanced Research Alliance, University of Tsukuba
1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

が盛んであり, これらの産生・分泌の異常が高血圧や脂質代謝異常, 糖代謝異常などを媒介すること¹⁵⁾, 2) 脂肪分解活性が高い VF から門脈を介して遊離脂肪酸やグリセロールが高濃度で肝臓に運ばれ, リポ蛋白代謝異常や膵臓におけるインスリンの分泌異常, 末梢組織におけるインスリン抵抗性を惹起すること¹⁶⁾が挙げられる. このような背景を考慮すると, 我が国における死因の約30%を占める心血管病と脳血管疾患などの動脈硬化性疾患¹⁷⁾に対する一次予防の観点から, VF の蓄積を予防, 改善させることは極めて重要である.

VF の蓄積は肥満と同様に身体不活動やエネルギーの過剰摂取に起因すると考えられ^{18,19)}, VF を減少させるには運動実践や食事制限(改善)によりエネルギー出納を負にすることが重要となる. これまで, 多くの研究者によって運動実践と食事改善の組み合わせが VF を効果的に減少させることが報告されている^{20~22)}. しかしながら, VF に対するそれぞれの単独効果は明らかではない. 運動実践が VF の減少に寄与する機序については, いくつかの研究成果が報告されており, 同程度の体重減少幅であるならば, 食事改善による減量よりも運動実践で, VF は大きく減少することが示唆されている. 例えば, 運動実践, 特に有酸素性運動によって, 脂肪合成の主要酵素である acyl-CoA synthetase の活性およびその mRNA の発現が SF より VF の脂肪細胞で著明に減少する²³⁾こと, VF は SF よりも, 運動時に血中濃度が増加するカテコラミンの刺激を介した脂肪分解作用に対して感受性が高い^{24,25)}こと, インスリンによる抗脂肪分解作用に対する感受性が低い^{26,27)}ことなどである. しかしながら, 同一の研究で運動実践と食事改善が VF に及ぼす影響を比較したものは限られており^{20,21)}, その効果の違いは十分に検討されているとはいえない. また, 白色人種と比べ, 肥満度や腹囲, 年齢に違いがなくても VF が多いとされる日本人^{28,29)}において, 運動実践単独と食事改善単独が VF の減少に及ぼす影響を検討した研究は一報のみである²⁰⁾. その一報も, 中年肥満女性を対象にしており, 肥満者の増加が顕著な中年男性を対象とした研究は見当たらない.

そこで本研究では, 中年肥満男性において, 体重減少量が同程度ならば運動実践では食事改善に比

べ, VF が大きく減少するという仮説を設定し, この仮説を検証することを本研究の目的とした.

Ⅱ. 方 法

A. 対象者

本研究の対象者は中年肥満および肥満傾向の男性35名であり, そのうち, 運動(exercise: E)群が22名, 食事(diet: D)群が13名であった. なお, 教室にはE群29名, D群21名が参加したが, ドロップアウト者や欠損値がある者, 出席率が50%に満たない者を最終的な解析の対象から除外した. E群の対象者は茨城県つくば市およびその近隣自治体の広報誌, 地域情報誌を通じて募集した. 一方, D群は筑西市の地域住民であり, 同市の保健事業の参加者であった. D群の対象者は同市の広報誌, 全戸回覧, 公共施設および民間施設へのポスター掲示, 筑波大学からの通知および基本健康診査時における保健師の助言などを通じて募集した. 募集の際はE群, D群ともに, 1) 身長から体重を引いた数が90以下, 2) 腹囲が90 cm 以上, の二つを満たすことを参加の条件とし, BMI25 以上, 腹囲85 cm 以上であることを確保しようと試みたが, BMI の基準に合致しない者がE群に1名, D群に2名, 腹囲の基準に合致しない者がD群に1名含まれていた.

すべての対象者に研究の目的や運動および食事教室の内容, 測定内容を十分に説明し, 書面にて研究協力への同意を得た. なお, 本研究は筑波大学に帰属する倫理委員会の承認を得た.

B. 運動および食事教室

E群の対象者は2006年5~7月に筑波大学にて開催された運動教室に参加した. 運動教室は12週間であり, 1回90分間, 週3回で構成された. 運動内容は, 10~15分間の徒手体操を中心とした準備運動, 主運動として40~60分間のウォーキングおよびジョギングを中心とした有酸素性運動, 10~15分間の自重負荷による筋力トレーニングおよびレクリエーション運動, 5~10分間の徒手体操やリラクセーションを中心とした整理運動とした³⁰⁾. 主運動の運動強度は原則として Borg³¹⁾による自覚的運動強度(ratings of perceived exertion: RPE)を12~14あたりに保つよう指導した. また, 教室開始から10週目の間に心拍数測定器(610i, Polar 社製)を用いて, 主

運動中の心拍数(heart rate: HR)を確認した。なお、E群の対象者には、日常生活において原則として教室前の食習慣を変えないよう指示した。

D群の対象者は2006年6～8月に筑西市保健センターで開催された食事教室に参加した。食事教室は12週間であり、1回90分間、週1回の食事指導で構成された。指導内容は栄養や食生活に関する講話および実習であった。対象者には、1食あたり560 kcalを目標に、四群点数法³²⁾を用いて栄養バランスの良い食事を摂取するように指導した。具体的には、毎食、第1群(乳・乳製品/卵)から1点(80 kcal)、第2群(魚介類/肉類/豆・豆製品)から2点(160 kcal)、第3群(野菜/芋類/きのこ・海藻類/果物)から1点(80 kcal)、第4群(穀類/砂糖/油脂/その他の嗜好品)から3点(240 kcal)の範囲内で、対象者自身が食品を選んで摂取するように指導した。また、教室期間中、対象者には毎食の食事内容(メニュー、食材、調味料など)を記録させ、その記録をもとに栄養士、保健師および大学院生が必要に応じて個別に指導した。なお、D群の対象者には、日常生活において、原則として教室前の運動習慣を変えないよう指示した。

C. 測定項目

運動および食事教室の前後で形態、全身持久性体力、身体組成および腹部脂肪を測定した。また、教室開始1～2週間前にエネルギー消費量、身体活動量およびエネルギー摂取量を調査した。教室中のエネルギー消費量、身体活動量およびエネルギー摂取量は教室開始から9～10週目に調査した。以下に各測定方法の詳細を示す。

1. 形態

身長は身長計(YG-200, ヤガミ社製)を用いて0.1 cm単位で測定した。体重は体重・体組成計(TBF-551, タニタ社製)を用いて0.1 kg単位で測定した。その際、着衣分の重量(0.8～1.2 kg)を測定値から差し引いた。BMIは体重(kg)を身長(m)の二乗で除すことにより求めた。

腹囲は非伸縮性のメジャーを用いて、0.1 cm単位で測定した。測定部位は臍位とし、立位呼息時に2度測定し、その平均値を採用した。その際、対象者の前方および側方からメジャーが水平であることを確かめた³³⁾。腹囲の測定は教室前後ともに熟練

した検者1名が担当し、測定誤差が小さくなるよう努めた。

2. 全身持久性体力

教室前後に、全身持久性体力の指標である最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)を漸増負荷テストにより測定した。測定にはcycle ergometer(828E, Monark社製)を用いた。サドル高は対象者の脚長に合わせて調節し、ペダルが最下部に達したときに膝関節が大きく曲がらないように設定した。運動中は心電図とHRを心電計(DS-2150, フクダ電子社製)で連続的に観察し、データの収集とともに事故防止に努めた。運動中の呼気ガスは自動呼気ガス分析器(Oxycon Alpha, Mijnhardt社製)を用いて分析した。呼気ガス指標はbreath-by-breath法により測定したが、データの安定性を重視し、解析には30秒ごとの平均値を用いた。

測定プロトコルとしては、摩擦抵抗をかけない状態(0 kp)で2分間のウォーミングアップをおこなった後、症候性限界に達するまで毎分0.25 kpずつ段階的に負荷を高める多段階漸増負荷法を採用した。負荷テスト中におけるペダルの回転数(revolutions per minute: rpm)は、電子メトロノームを用いて60 rpmで一定とした。すなわち、1分ごとに増加する仕事率は0.25 kp, 60 rpmおよび6 m(1 rpmあたりの距離)の積から約15 watt(90 kpm)となる。症候性限界は、1) 酸素摂取量($\dot{V}O_2$)のleveling-off(ひとつ前の負荷段階と比べた $\dot{V}O_2$ の上昇が150 ml/min以下)、2) 呼吸交換比が1.10以上、3) 運動時のHRが予測最大HR(220-暦年齢)の90%以上、の3つの基準のうち2つ以上満たしていることを条件として決定した³⁴⁾。また、負荷テスト中における不整脈の出現や負荷に対して回転数が追いつかないなどの理由で、上記の条件を満たさずに負荷テストを終了した対象者にはRPEと体脂肪率(%fat)から推定する計算式³⁵⁾を用い、個人の $\dot{V}O_{2max}$ を算出した。ただし、同一対象者には同一方法で教室前後の $\dot{V}O_{2max}$ を測定した。

3. エネルギー消費量、身体活動量およびエネルギー消費量

エネルギー消費量および身体活動量は記録機能を持つ1軸加速度計(Lifecorder, スズケン社製)を用いて算出した。加速度計は性別、年齢、身長、体重から基礎代謝量を算出し³⁶⁾、そこに上下方向の加

速度から算出される運動量を加算することでエネルギー消費量および身体活動量が求められる。教室前および教室開始 9～11 週目のそれぞれ 7～14 日間を測定期間とした。

1 日あたりのエネルギー摂取量は秤量法に基づく 3 日間の食事記録により調査した。調査に先立ち、記録方法の詳細をすべての対象者に説明した。対象者には調査期間中に摂取したものをすべて秤量し、記録するよう指導した。秤量が困難な場合は食品の製造会社名と分量を記入させた。調査日は休日 1 日、平日 2 日の 3 日間とし、可能な限り普段の日常生活を代表するような平均的な日を選び、特別な行事などを含む日は調査日に含めないよう指示した。算出にあたり情報が不十分な場合は管理栄養士が個別に聞き取り調査した。エネルギー摂取量の計算には、五訂増補日本食品標準成分表³⁷⁾を用いた。エネルギー摂取量の分析は熟練した管理栄養士が担当した。

4. 身体組成

身体組成は、二重エネルギー X 線吸収法 (DPX-NT, Lunar 社製) により測定した。測定項目は体脂肪量 (fat mass : FM) および除脂肪除骨量 (fat- and bone-free mass : FBFM) であった。また、FM を体重で除すことで %fat を算出した。身体組成の測定に際しては、測定の 2 時間前から飲食を控えるように指示した。測定前には身につけていた貴金属類を外した上で、測定用の衣服に着替えさせた。測定姿勢は仰臥位で、掌を下向きにしてベッドに密着させた。

5. 腹部脂肪

腹部脂肪は computed tomography (CT) 画像の分析により算出した。CT 画像は CT スキャン (Somatom AR. C, Siemens 社製) により、仰臥位姿勢で臍高位を基準位置として撮影した。各対象者の画像を腹部脂肪算出専用ソフト (FatScan version 3.0, N2 システム社製) により分析することで内臓脂肪面積 (visceral fat area : VFA) および皮下脂肪面積 (subcutaneous fat area : SFA) を算出した³⁸⁾。なお、CT を用いた VFA の測定については、信頼性と妥当性が報告されており³⁹⁾、日本肥満学会が標準的な方法として推奨している¹⁾。また、1 枚の CT 画像から算出した VFA が VF 全体をよく反映することも報告されている⁴⁰⁾。腹部脂肪の測定に

際しては、身体組成と同様に測定の 2 時間前から飲食を控えるように指示した。

D. 統計解析

各項目の測定結果は本文および表においては平均値±標準偏差で、図においては平均値±標準誤差で示した。教室前の各測定指標の群間比較には対応のない t 検定を、教室前後の項目については対応のある t 検定を用いた。教室前後の各項目の変化について、E 群と D 群の群間差を検証するために、時間および群を要因とする二元配置の分散分析 (two-way repeated measures analysis of variance : ANOVA) により交互作用の有意性を検討した。また、体重および FM の変化の影響を除外するために共分散分析 (analysis of covariance : ANCOVA) を施した。すべての統計解析には SAS 9.01 (SAS 社製) を用い、統計的有意水準は 5% に設定した。

Ⅲ. 結 果

各群の教室への出席率は、E 群で $83.8 \pm 13.2\%$ 、D 群で $72.5 \pm 13.3\%$ であった。また、E 群における主運動 (ウォーキングやジョギング) 中の平均 HR は 129.0 ± 21.0 拍/分であり、予測最大 HR (220-暦年齢) の $77.3 \pm 8.8\%$ に相当した。

教室前において、体重に群間差はみられなかったが、BMI には群間差がみとめられた (Table 1)。教室前後で体重および BMI は両群とも有意に減少した。また、二元配置の分散分析の結果、体重、BMI ともに有意な交互作用がみられ、E 群に比べ D 群で大きく減少した。BMI と同様に腹囲は教室前において群間差がみとめられた。教室前後では、両群とも有意に減少した。しかしながら、教室前後の腹囲の変化に交互作用はみとめられなかった。

教室前において、 $\dot{V}O_{2\max}$ に両群間で有意な差はみとめられなかった (Table 1)。E 群において、 $\dot{V}O_{2\max}$ は教室前後で有意に増加したが、D 群では変化がみられず、有意な交互作用がみとめられた。

加速度計により測定した両群のエネルギー消費量、身体活動量および秤量法により測定した両群のエネルギー摂取量の平均値を Table 2 に示した。教室前のエネルギー消費量および身体活動量に群間差はみとめられなかった。教室期間中、D 群はエネルギー消費量、身体活動量ともに有意な変化を示さな

Table 1. Changes in anthropometric characteristics and cardiorespiratory fitness in both groups.

		Exercise (N = 22)	Diet (N = 13)	P for interaction
Age, yr	pre	54.0 ± 11.6	48.8 ± 12.2	
Weight, kg	pre	80.5 ± 11.1	74.9 ± 6.8	0.015
	post	77.6 ± 10.8	69.5 ± 6.3	
	change	-2.9 ± 2.4*	-5.4 ± 3.3*	
Body mass index [†] , kg/m ²	pre	28.7 ± 2.8	26.6 ± 2.6	0.018
	post	27.6 ± 2.8	24.8 ± 2.8	
	change	-1.1 ± 0.8*	-1.8 ± 1.0*	
Waist circumference [†] , cm	pre	100.0 ± 7.8	94.3 ± 7.7	0.605
	post	95.3 ± 7.9	89.0 ± 8.4	
	change	-4.7 ± 3.7*	-5.4 ± 3.8*	
Maximal oxygen uptake, ml/kg/min	pre	29.2 ± 6.3	31.6 ± 5.4	< 0.001
	post	34.3 ± 7.5	31.6 ± 5.5	
	change	5.1 ± 3.4*	0.0 ± 2.7	

Data are presented as mean ± standard deviation. *Significant change within group by paired *t*-test ($P < 0.05$)

[†]Significant difference between the groups at pre by unpaired *t*-test ($P < 0.05$)

Table 2. Changes in physical activity and energy intake in both groups.

		Exercise (N = 21)	Diet (N = 9)	P for interaction
Total energy expenditure, kcal/d	pre	2286 ± 288	2270 ± 331	0.047
	post	2425 ± 288	2271 ± 329	
	change	139 ± 161*	1 ± 179	
Physical activity energy expenditure, kcal/d	pre	258 ± 108	286 ± 177	0.095
	post	410 ± 141	331 ± 213	
	change	152 ± 145*	44 ± 181	
Total energy intake [†] , kcal/d	pre	2467 ± 532	2257 ± 467	0.011
	post	2530 ± 454	1765 ± 254	
	change	64 ± 546	-492 ± 498*	

Data are presented as mean ± standard deviation. *Significant change within group by paired *t*-test ($P < 0.05$)

[†]The number of participants in exercise and diet groups were 21 and 10, respectively.

かったのに対し, E 群はエネルギー消費量, 身体活動量ともに有意に増加した。また, エネルギー消費量については有意な交互作用がみとめられた。

エネルギー摂取量については, 教室前において群間差はみとめられなかった。E 群では, 教室前後でエネルギー摂取量に変化はなく, D 群では, エネルギー摂取量が有意に減少した。二元配置の分散分析の結果, 両群のエネルギー摂取量の変化に有意な交互作用がみとめられた。

FM, FBFM および %fat は教室前において両群間に有意な差がみとめられなかった (Table 3)。教室前後では, 両群ともに %fat および FM が有意に減少した。また, 二元配置の分散分析の結果, %fat, FM とともに有意な交互作用がみられ, E 群に比べ D 群で大きく減少した。一方, FBFM は両群ともに

教室前後で有意な変化がみとめられず, 交互作用も有意ではなかった。

腹部脂肪については, 教室前において, SFA に有意な群間差がみとめられた (Table 3)。一方, VFA に群間差はみとめられなかった。両群ともに, 教室前後で VFA および SFA が有意に減少した。二元配置の分散分析の結果, VFA に有意な交互作用はみとめられなかったものの, SFA には有意な交互作用がみとめられた。E 群と D 群で体重減少量に差がみられたことから, 体重減少量 (Figure 1), または FM 減少量 (Figure 2) の影響を除外して VFA の減少を比較することを目的に, 共分散分析を施した。その結果, いずれにおいても VFA の減少に有意な群間差はみとめられなかった。同様に, 教室前の VFA に対する変化率で比較しても両群間

Table 3. Changes in body composition and abdominal fat in both groups.

		Exercise (N = 22)	Diet (N = 13)	P for interaction
Percentage of fat mass, %	pre	31.0 ± 5.4	28.9 ± 6.2	0.002
	post	28.7 ± 5.7	23.9 ± 8.8	
	change	-2.2 ± 1.7*	-5.0 ± 3.3*	
Fat mass, kg	pre	25.4 ± 7.2	22.0 ± 5.5	0.004
	post	22.9 ± 7.2	17.0 ± 7.0	
	change	-2.5 ± 1.8*	-5.0 ± 3.0*	
Fat- and bone-free mass, kg	pre	52.6 ± 5.9	51.0 ± 5.9	0.311
	post	52.6 ± 5.2	50.4 ± 5.7	
	change	-0.1 ± 1.6	-0.6 ± 1.2	
Visceral fat area, cm ²	pre	189.5 ± 54.3	171.1 ± 72.2	0.604
	post	157.5 ± 50.1	131.7 ± 76.0	
	change	-32.0 ± 36.8*	-39.4 ± 46.2*	
Subcutaneous fat area [†] , cm ²	pre	236.6 ± 84.9	175.5 ± 60.5	0.009
	post	213.0 ± 93.9	124.7 ± 65.3	
	change	-23.6 ± 28.7*	-50.7 ± 26.7*	

Data are presented as mean ± standard deviation. *Significant change within group by paired *t*-test ($P < 0.05$)

[†]Significant difference between the groups at pre by unpaired *t*-test ($P < 0.05$)

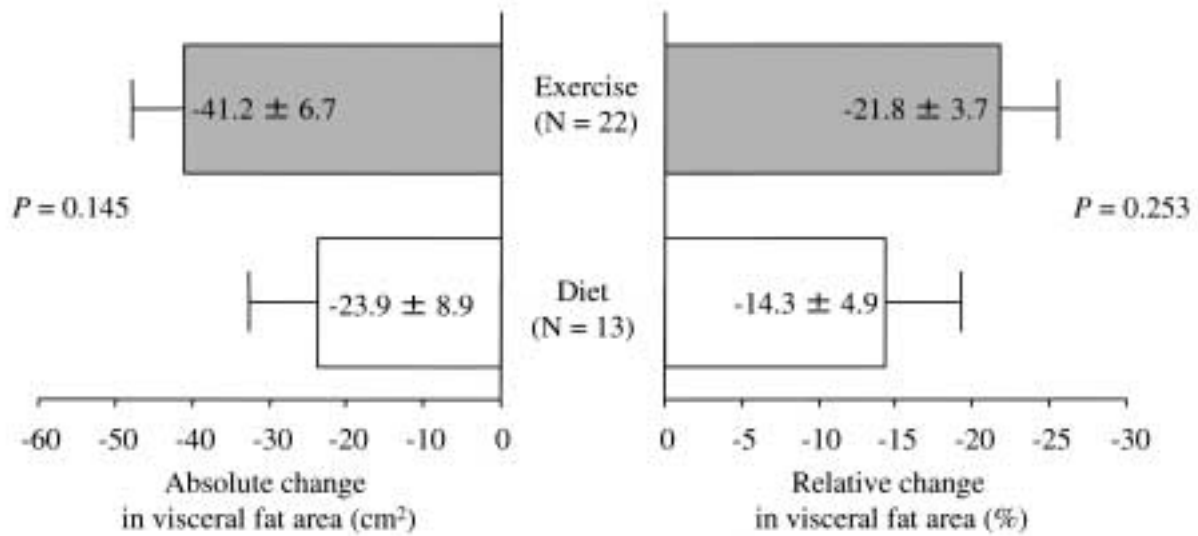


Figure 1. Changes in visceral fat area adjusted by weight change in response to exercise or dietary modification.

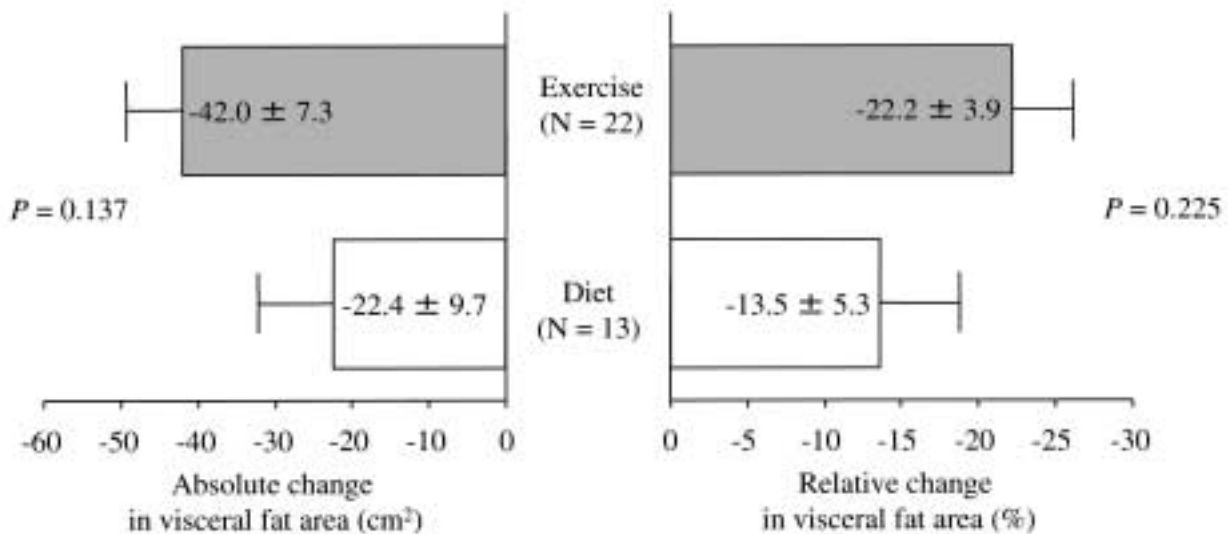


Figure 2. Changes in visceral fat area adjusted by fat mass change in response to exercise or dietary modification.

に有意差はみとめられなかった。

IV. 考 察

本研究の目的は、中年肥満男性を対象に、VFの減少が運動実践と食事改善で異なるか否かを検討することであり、体重減少量が同程度ならば運動実践では食事改善に比べ、VFが大きく減少するという仮説を検証した。12週間にわたる運動実践および食事改善の結果、VFAの変化にE群とD群で有意差がみとめられず、設定した仮説は採択されなかった。この結果は負のエネルギー出納が、エネルギー消費量の増加とエネルギー摂取量の減少のどちらで

もたらされても、VFAの減少に違いがないことを示唆するものである。

E群ではエネルギー摂取量が変化せず、エネルギー消費量が増加し、D群ではエネルギー摂取量が減少し、エネルギー消費量が変化しなかった(Table 2)。このことから、E群は運動実践に伴うエネルギー消費量の増加によって、D群は食事改善に伴うエネルギー摂取量の減少によって、それぞれエネルギー出納の不均衡がもたらされたと判断できる。すなわち、本研究の目的であるVFの減少が運動実践と食事改善で異なるか否かを検証するために合致したエネルギー出納の変化が対象者に生じていたと

考えられる。

VF の変化はエネルギー出納の変化と密接に関連することから⁴¹⁾, 運動実践と食事改善の違いを比較するにはエネルギー出納を同等に統制することが望ましい。しかしながら, 実際にはその統制は極めて困難である。その理由として, 1) 自由生活下におけるエネルギー消費量を正確に測定することは困難であること, 2) 教室介入によるエネルギー摂取量の変化を厳密に捉えることは困難であること, の2点が挙げられる。1) に関しては, 自由生活下におけるエネルギー消費量の妥当基準とされている二重標識水(doubly labeled water: DLW)法があるが, DLW が極めて高価であることから, 大人数を対象とし, かつ複数回の測定が必要な介入研究では, 大きな経済的負担が生じる。本研究で用いた加速度計法は, 自由生活下における測定法の中で DLW 法に次いで信頼性の高い方法であり, しばしば身体活動量の定量を試みる質問紙の妥当基準に用いられている⁴²⁾。加速度計法は DLW 法と相関が高いことが知られているものの, DLW 法に対して過小評価することも報告されている⁴³⁾。したがって, 本研究のエネルギー消費量も過小評価されている可能性を否定できない。2) に関しては, 本研究ではエネルギー摂取量を秤量法に基づく3日間の食事記録から測定した。秤量法は栄養疫学的研究で用いられる食物摂取頻度調査票の妥当基準とされていること⁴⁴⁾や, 厚生労働省が実施する国民健康・栄養調査⁴⁵⁾における栄養摂取状況の調査に用いられており, 本研究で採用可能な最善の方法と考えられる。しかし, 3日間の食事内容の報告が, 12週間の食生活すべてを代表しているとは考えにくい。例えば, D群の対象者であれば, 食事教室の初期においては食生活の改善に不慣れであることが多く, 目標の1日1680 kcal よりも多くのエネルギーを摂取していることや, 逆に目標値よりも極端に少ないエネルギー摂取量になっていることも予想される。このような実情を考慮し, 本研究では食習慣が安定していると考えられる時期(9~11週目)に食事調査をおこなったが, 先に挙げた偏りを十分に取り除くものではない。このようなエネルギー消費量およびエネルギー摂取量の測定に伴う困難さを考慮し, エネルギー出納を完全に統制することは不可能であると判断した。そこで, 本研究ではエネルギー出納を反映した

結果である体重あるいは FM の変化を制御変数として用い, VFA の変化について検討した。

体重あるいは FM の変化を共変数とした共分散分析の結果, 両群間に有意な差はみとめられなかった。Ross et al.²¹⁾は, 中年肥満男性を対象に1日700 kcal のエネルギー摂取制限をする(diet-induced weight loss: DW)群, 運動実践により1日700 kcal のエネルギーを消費し, 食習慣を変えない(exercise-induced weight loss: EW)群を設けた12週間のランダム化比較試験をおこない, 核磁気共鳴映像法で測定した VF を比較している。その結果, EW 群は DW 群に比べ, 全身の体脂肪が有意に大きく減少したが, VF の減少に差はみとめられなかったことを報告している。これは, 運動実践と食事改善で VF の変化に差がないという本研究の結果と一致する。

本研究は, 運動実践および食事改善が VF の減少に及ぼす影響について, 日本人を対象に検討した数少ない研究である。先行研究において, 田中たち²⁰⁾は中高年肥満女性を対象に, 食事改善, 運動実践およびそれらを組み合わせた3群を設け, VF および血圧や血中脂質などの変化を検討している。その結果, すべての群で VFA が減少したものの, 3群間の減少の程度に差はみとめられなかったと報告している。しかしながら, この報告では, 運動内容が本研究と類似していたにもかかわらず, 運動実践群の体重減少が6 kg 以上であり, 本研究の約2倍大きかった。また, 介入前および介入中のエネルギー摂取量が報告されていない。そのため, 詳細は不明であるが, 運動を介入した他の先行研究の結果からみても, 運動実践群における6 kg 以上の体重減少は身体活動量の増加のみによる負のエネルギー出納によってもたらされたとは断言できない。つまり, 運動実践群において, 食事改善によるエネルギー摂取量を減らした結果, 体重減少が生じた可能性がある。本研究は, 負のエネルギー出納がE群は運動実践により, D群は食事改善によりもたらされたことを確認していることから, 先行研究の不十分な点を補い, より確かな知見を提供したといえよう。

運動実践が VF の減少に寄与する可能性を示唆している先行研究は数多くある。Smith & Zachwieja⁴⁶⁾や Kay & Fiatarone Singh⁴⁷⁾の総説, Ross

& Janssen⁴⁸⁾のメタ分析では、身体活動量の増加によるVFの減少が報告されている。日本人を対象とした研究では、Miyatake et al.⁴⁹⁾が31名の中年肥満男性を対象に、日常生活で歩数を積極的に増やそう指導し、1年間継続させたところ、1日1800歩の増加がみられ、エネルギー摂取量は変化せず、体重が3.7 kg、VFAは22 cm²減少したと報告している。また、Kunitomi et al.⁵⁰⁾は、56名の中年肥満男性を対象に、歩数増加を促したところ、1年後には1日約1000歩の増加がみられ、エネルギー摂取量は僅かに減少し(-126 kcal/日)、VFAは18 cm²減少したと報告している(体重の変化は報告されていない)。高波たち⁵¹⁾は、平均BMI 24.3の中年男性14名を対象に、 $\dot{V}O_{2max}$ の50%の強度で30~60分のウォーキングや自転車運動を12週間実践させたところ、体重が約2.3 kg減少し、対照群と比べてVFAが有意に減少した(-20 cm²)と報告している(エネルギー摂取量は報告されていない)。先行研究の結果を総括すると、運動実践によりVFが減少することが示唆されるものの、白人を対象とした研究に比べ、日本人を対象とした研究はエネルギー摂取量が調査されていない、またはエネルギー摂取量の減少が影響し、運動実践のみによってVFに変化が生じたと判断できないなど、不十分な点が存在する。本研究は、それらの点を考慮して、運動実践がVFに及ぼす効果を検討したものである。

本研究の結果から、運動実践が食事改善に比べ、体重の減少量は小さかったものの、VFの減少量は同程度であり、12週間、週3回、1回約90分(主運動は40~60分)の運動実践で、有意にVFが減少することが明らかとなった。食事改善と同様に、運動実践は動脈硬化性疾患のリスクが高いとされる内臓脂肪型肥満の改善に有効な手段であることが示唆された。臨床の現場のみならず、健康づくりや疾病予防を意図した活動をおこなう場合、運動実践と生活改善が主たる方法であるが、本研究の結果から、運動実践によっても同程度のVFの減少を得ることができ、それ以外にも糖尿病や総死亡の独立した予測因子である全身持久性体力^{52,53)}の改善などの健康利益を得られることが明らかとなった。また、健康増進を志向する者の中には、食習慣を「変えたくない」「変えられない」と回答する者が少なからず存在する。本研究のE群の対象者からも、「食事

を変えなくても良いので参加した」、「お酒だけは絶対やめられない」などの声が聞かれた。そのような志向を持つ者に対して、「食事改善をしなくても、運動実践だけで十分な効果が得られる」という、ひとつの基礎資料を示すことができたと言えよう。

今後の課題として、運動実践に伴うVFの減少に貢献する決定要因を明らかにすることが挙げられる。考えられる要因として、年齢、性、人種、遺伝、体脂肪分布、体力水準などが挙げられる。これらの関与の程度が明らかになれば、動脈硬化性疾患の罹患リスクが高い集団に対して、個人に適した効果的な運動を提供するための基礎資料として活用することが期待できる。さらに、VFの減少に必要な身体活動水準の目標値を提案することができるという点で、公衆衛生的な意義は非常に高い。このような点に焦点を絞り、今後の研究を進める必要がある。

V. 結 語

本研究の目的は、中年肥満男性を対象に、内臓脂肪の減少が運動実践と食事改善で異なるか否かを検討することであり、体重減少量が同程度ならば運動実践では食事改善に比べ、内臓脂肪が大きく減少するという仮説を検証した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 運動実践と食事改善に伴う内臓脂肪面積の減少は体重および体脂肪の変化を考慮しても、両群間に有意な差はなく、負のエネルギー出納が運動実践と食事改善のどちらによってもたらされても、内臓脂肪の減少に違いはないことが示唆された。
- 2) 週3回、1回90分(主運動は40~60分)の運動実践を12週間継続することで、内臓脂肪面積が食事改善と同程度減少することから、内臓脂肪型肥満者に対する介入方法として、食事改善と同様に運動実践も有効であることが示唆された。

謝 辞

本研究は、研究拠点形成費補助金(21世紀COEプログラム西平プロジェクト)、筑波大学先端学際領域研究センター(TARA田中プロジェクト)および厚生労働科学研究費補助金(循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業)の支援を受けておこなったものである。

(受理日 平成19年10月5日)

文 献

- 1) 日本肥満学会肥満症診断基準検討委員会. 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. 肥満研究, (2000), **6**, 18-28.
- 2) 厚生労働省. 平成15年 国民健康・栄養調査. <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2005/04/h0421-1.html>, (2005).
- 3) Stamler, R., Stamler, J., Riedlinger, W. F., Algera, G., Roberts, R. H. Weight and blood pressure. Findings in hypertension screening of 1 million Americans. J. A. M. A., (1978) **240**, 1607-1610.
- 4) Pouliot, M. C., Despres, J. P., Nadeau, A., Moorjani, S., Prud'Homme, D., Lupien, P. J., Tremblay, A., Bouchard, C. Visceral obesity in men. Associations with glucose tolerance, plasma insulin, and lipoprotein levels. Diabetes, (1992) **41**, 826-834.
- 5) Larsson, B., Bjorntorp, P., Tibblin, G. The health consequences of moderate obesity. Int. J. Obes., (1981) **5**, 97-116.
- 6) Hubert, H. B., Feinleib, M., McNamara, P. M., Castelli, W. P. Obesity as an independent risk factor for cardiovascular disease: a 26-year follow-up of participants in the Framingham Heart Study. Circulation, (1983) **67**, 968-977.
- 7) Cui, R., Iso, H., Toyoshima, H., Date, C., Yamamoto, A., Kikuchi, S., Kondo, T., Watanabe, Y., Koizumi, A., Wada, Y., Inaba, Y., Tamakoshi, A.; JACC Study Group. Body mass index and mortality from cardiovascular disease among Japanese men and women: the JACC study. Stroke, (2005) **36**, 1377-1382.
- 8) Tugane, S., Sasaki, S., Tsubono, Y. Under- and overweight impact on mortality among middle-aged Japanese men and women: a 10-y follow-up of JPHC study cohort I. Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord., (2002) **26**, 529-537.
- 9) Kissebah, A. H., Videlund, N., Murray, R., Evans, D. J., Hartz, A. J., Kalkhoff, R. K., Adams, P. W. Relation of body fat distribution to metabolic complications of obesity. J. Clin. Endocrinol. Metab., (1982) **54**, 254-260.
- 10) Bjorntorp, P. Adipose tissue distribution, plasma insulin, and cardiovascular disease. Diabete Metab., (1987) **13**, 381-385.
- 11) Fujioka, S., Matsuzawa, Y., Tokunaga, K., Tarui, S. Contribution of intra-abdominal fat accumulation to the impairment of glucose and lipid metabolism in human obesity. Metabolism, (1987) **36**, 54-59.
- 12) Kanai, H., Matsuzawa, Y., Kotani, K., Keno, Y., Kobatake, T., Nagai, Y., Fujioka, S., Tokunaga, K., Tarui, S. Close correlation of intra-abdominal fat accumulation to hypertension in obese women. Hypertension, (1990) **16**, 484-490.
- 13) Matsuzawa, Y., Shimomura, I., Nakamura, T., Keno, Y., Tokunaga, K. Pathophysiology and pathogenesis of visceral fat obesity. Diabetes Res. Clin. Pract., (1994) **24**, S111-116.
- 14) Kuk, J. L., Katzmarzyk, P. T., Nichaman, M. Z., Church, T. S., Blair, S. N., Ross, R. Visceral fat is an independent predictor of all-cause mortality in men. Obesity, (2006) **14**, 336-341.
- 15) Kershaw, E. E., Flier, J. S. Adipose tissue as an endocrine organ. J. Clin. Endocrinol. Metab., (2004) **89**, 2548-2556.
- 16) Bjorntorp, P. Metabolic implications of body fat distribution. Diabetes Care, (1991) **14**, 1132-1143.
- 17) 厚生労働省. 平成17年 人口動態統計. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei05/data.pdf>, (2005).
- 18) Pate, R. R., Pratt, M., Blair, S. N., Haskell, W. L., Macera, C. A., Bouchard, C., Buchner, D., Ettinger, W., Heath, G. W., King, A. C. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. J. A. M. A., (1995) **273**, 402-407.
- 19) Weinsier, R. L., Hunter, G. R., Schutz, Y., Zuckerman, P. A., Darnell, B. E. Physical activity in free-living, overweight white and black women: divergent responses by race to diet-induced weight loss. Am. J. Clin. Nutr., (2002) **76**, 736-742.
- 20) 田中喜代次, 田中英和, 大蔵倫博, 重松良祐, 中西とも子, 下帯正直, 渡邊 寛, 檜山輝男. 有酸素性運動およびエネルギー摂取制限が腹部脂肪面積に与える影響. 肥満研究, (1999), **5**, 40-45.
- 21) Ross, R., Dagnone, D., Jones, P. J., Smith, H., Paddags, A., Hudson, R., Janssen, I. Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial. Ann. Intern. Med., (2000) **133**, 92-103.
- 22) Okura, T., Tanaka, K., Nakanishi, T., Lee, D. J., Nakata, Y., Wee, S. W., Shimokata, H. Effects of obesity phenotype on coronary heart disease risk factors in response to weight loss. Obes. Res., (2002) **10**, 757-766.
- 23) Shimomura, I., Tokunaga, K., Kotani, K., Keno, Y., Yanase-Fujiwara, M., Kanosue, K., Jiao, S., Funahashi, T., Kobatake, T., Yamamoto, T. Marked reduction of acyl-CoA synthetase activity and mRNA in intra-abdominal visceral fat by physical exercise. Am. J. Physiol., (1993) **265**, E44-50.
- 24) Mauriege, P., Galitzky, J., Berlan, M., Lafontan, M. Heterogeneous distribution of beta and alpha-2 adrenoceptor binding sites in human fat cells from various fat deposits: functional consequences. Eur. J. Clin. Invest., (1987) **17**, 156-165.
- 25) Hellmer, J., Marcus, C., Sonnenfeld, T., Arner, P. Mechanisms for differences in lipolysis between human subcutaneous and omental fat cells. J. Clin. Endocrinol. Metab., (1992) **75**, 15-20.
- 26) Lefebvre, A. M., Laville, M., Vega, N., Riou, J. P., van Gaal, L., Auwerx, J., Vidal, H. Depot-specific dif-

- ferences in adipose tissue gene expression in lean and obese subjects. *Diabetes*, (1998) **47**, 98-103.
- 27) Meek, S. E., Nair, K. S., Jensen, M. D. Insulin regulation of regional free fatty acid metabolism. *Diabetes*, (1999) **48**, 10-14.
- 28) Tanaka, S., Horimai, C., Katsukawa, F. Ethnic differences in abdominal visceral fat accumulation between Japanese, African-Americans, and Caucasians : a meta-analysis. *Acta Diabetol.*, (2003) **40**, S302-304.
- 29) Kadowaki, T., Sekikawa, A., Murata, K., Maegawa, H., Takamiya, T., Okamura, T., El-Saed, A., Miyamatsu, N., Edmundowicz, D., Kita, Y., Sutton-Tyrrell, K., Kuller, L.H., Ueshima, H. Japanese men have larger areas of visceral adipose tissue than Caucasian men in the same levels of waist circumference in a population-based study. *Int. J. Obes.*, (2006) **30**, 1163-1165.
- 30) 田中喜代次, 吉村隆喜, 奥田豊子, 小西洋太郎, 角田 聡, 出村慎一, 岡田邦夫. AT 水準以上の強度を基準とした完全監視型持久性運動療法および不完全監視型食事療法の併用が肥満者の健康・体力に及ぼす影響. *体力研究*, (1986), **62**, 26-40.
- 31) Borg, G. A. Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, (1973) **5**, 90-93.
- 32) 香川芳子 編. 五訂版 食品80キロカロリーガイドブック, 女子栄養大学出版部, 東京, (2002).
- 33) 日本肥満学会肥満症治療ガイドライン作成委員会. 肥満症治療ガイドライン2006. 肥満研究, (2006), **12**, 臨時増刊.
- 34) Tanaka, K., Takeshima, N., Kato, T., Niihata, S., Ueda, K. Critical determinants of endurance performance in middle-aged and elderly endurance runners with heterogeneous training habits. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1990) **59**, 443-449.
- 35) 大蔵倫博, 田中喜代次. 自覚的運動強度を用いた全身持久性体力推定法の総合的検討: 最大下多段階漸増負荷サイクリングテストを利用して. *体力科学*, (1999), **48**, 111-124.
- 36) 厚生省. 第五次改訂 日本人の栄養所要量, 第一出版, 東京, (1994).
- 37) 食品成分研究調査会 編. 五訂増補 日本食品成分表, 医歯薬出版, 東京, (2005).
- 38) Yoshizumi, T., Nakamura, T., Yamane, M., Islam, A. H., Menju, M., Yamasaki, K., Arai, T., Kotani, K., Funahashi, T., Yamashita, S., Matsuzawa, Y. Abdominal fat : standardized technique for measurement at CT. *Radiology*, (1999) **211**, 283-286.
- 39) Thaete, F. L., Colberg, S. R., Burke, T., Kelley, D. E. Reproducibility of computed tomography measurement of visceral adipose tissue area. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, (1995) **19**, 464-467.
- 40) Borkan, G. A., Hults, D. E., Gerzof, S. G., Burrows, B. A., Robbins, A. H. Relationships between computed tomography tissue areas, thicknesses and total body composition. *Ann. Hum. Biol.*, (1983) **10**, 537-545.
- 41) Ross, R. Effects of diet- and exercise-induced weight loss on visceral adipose tissue in men and women. *Sports Med.*, (1997) **24**, 55-64.
- 42) Jacobs, D. R. Jr., Ainsworth, B. E., Hartman, T. J., Leon, A. S. A simultaneous evaluation of 10 commonly used physical activity questionnaires. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1993) **25**, 81-91.
- 43) Rafamantanantsoa, H. H., Ebine, N., Yoshioka, M., Higuchi, H., Yoshitake, Y., Tanaka, H., Saitoh, S., Jones, P. J. Validation of three alternative methods to measure total energy expenditure against the doubly labeled water method for older Japanese men. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, (2002) **48**, 517-523.
- 44) Date, C., Fukui, M., Yamamoto, A., Wakai, K., Ozeki, A., Motohashi, Y., Adachi, C., Okamoto, N., Kurosawa, M., Tokudome, Y., Kurisu, Y., Watanabe, Y., Ozasa, K., Nakagawa, S., Tokui, N., Yoshimura, T., Tamakoshi, A.; JACC Study Group. Reproducibility and validity of a self-administered food frequency questionnaire used in the JACC study. *J. Epidemiol.*, (2005) **15**, S9-23.
- 45) 厚生労働省. 平成16年 国民健康・栄養調査. <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2006/05/h0508-1.html>, (2006).
- 46) Smith, S. R., Zachwieja, J. J. Visceral adipose tissue : a critical review of intervention strategies. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, (1999) **23**, 329-335.
- 47) Kay, S. J., Fiatarone Singh, M. A. The influence of physical activity on abdominal fat: a systematic review of the literature. *Obes. Rev.*, (2006) **7**, 183-200.
- 48) Ross, R., Janssen, I. Physical activity, total and regional obesity : dose-response considerations. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2001) **33**, S521-527.
- 49) Miyatake, N., Nishikawa, H., Morishita, A., Kunitomi, M., Wada, J., Suzuki, H., Takahashi, K., Makino, H., Kira, S., Fujii, M. Daily walking reduces visceral adipose tissue areas and improves insulin resistance in Japanese obese subjects. *Diabetes Res. Clin. Pract.*, (2002) **58**, 101-107.
- 50) Kunitomi, M., Wada, J., Takahashi, K., Tsuchiyama, Y., Mimura, Y., Hida, K., Miyatake, N., Fujii, M., Kira, S., Shikata, K., Makino, H. Relationship between reduced serum IGF-I levels and accumulation of visceral fat in Japanese men. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.*, (2002) **26**, 361-369.
- 51) 高波嘉一, 下光輝一, 川合ゆかり, 木下藤寿, 茂原治. 肥満者の動脈硬化予防に対する運動トレーニングの新たな意義に関する検討 ―脂肪細胞由来抗動脈硬化性因子(アディポネクチン)に対する運動トレーニングの効果―. *デサントスポーツ科学*, (2003), **24**, 53-60.
- 52) 澤田 亨, 武藤孝司. 日本人男性における有酸素能力と生命予後に関する縦断的研究. *日本公衆衛生雑誌*, (1999), **46**, 113-121.
- 53) Sawada, S. S., Lee, I. M., Muto, T., Matsuzaki, K., Blair, S. N. Cardiorespiratory fitness and the incidence of type 2 diabetes : prospective study of Japanese men. *Diabetes Care*, (2003) **26**, 2918-2922.